A111 高速水噴流の内部構造の可視化

東北大流体研 伊藤 幸雄

東北大学院 内田 俊彦○

東北大流体研 大場利三郎

Visualization on the Internal Structures of High-Speed Water-Jets

Yukio ITO*, Toshihiko UCHIDA** and Risaburo OBA*

In order to increase the performance and the reliability for several kind of nozzle in jet cutting, fuel injection, atomization and so on, the microscopic internal structures of high-speed water-jets were carefully visualized by using techniques of a laser light sheet and laser holographies. The free jets discharged from a small nozzle, 1.1mm in diameter, were injected into the non-restricted atmosphere. The ruptured processes of water columns, which play an important role in the abilities of jet-cuttings and fuel injections, are clearly shown.

1. 緒 言

高速液体あるいは混相噴流による応用技術として、加工、洗浄および液体の微粒化などが盛んに行なわれつつある。そして、これらの性能あるいは信頼性の向上に関連して、最適ノズル形状が種々提案されてきている^(1~3)。しかし、ノズル形状のわずかな変更が噴流の内部構造にいかなる変化をもたらしているかは不明である。そのため、この内部構造の可視化が、レーザライトシート法、ホログラフィ法あるいはレーザ流速計法などにより試みられたり^(2, 4~6)、壊食パターンより間接的に噴流の内部構造を推測しようとの試みもある⁽²⁾。また、ジェットカッティング用ノズルよりの高速噴流の場合、第1、2ピークと呼ぶ特定のノズル出口からの距離で壊食が極大値を持つ⁽²⁾が、それを説明できる内部構造も明示されていない。

よって本報では、まず最初に、直径1.1mmのノズル高速水噴流の内部構造の可視化を、レーザライトシート法とホログラフィ法により試みる。

2. 実験装置と方法

タンクに貯えられた水道水は、三連プランジャーポンプ（最大吐出圧力は70MPa, 最大流量20.93ℓ/min）で加圧され、三方向切換弁を通り高圧ホースによりノズルへ導かれ、噴流は水平方向に噴出される。噴流の吐出圧力 P_1 はアダプタの外壁面に取り付けられた圧力変換器により測定した。供試ノズルは、直径 $d = 1.1\text{mm}$ 、近寄りテーパ角約26degで、ノズル部はセラミックス製のラバルノズル形状である（図1参照）。

* Institute of Fluid Science, Tohoku University

** Tohoku University, Graduate Student

高速噴流の内部構造の観察に際しては、その高速性と小寸法を配慮して、ライトシート（シート幅は約 0.2mm）法を採用した。さらに、噴流の界面などの様相を調べるためにホログラフィ法も併用している。図 2 にはそれらの測定光学系を示す。レーザライトシートは、パルス幅 20ns のルビーレーザー（波長 $\lambda = 6943 \text{ \AA}$ ）光をビームエキスパンダで拡大し、凹面鏡、コリメータレンズを介してシリンダリカルレンズにより得ている。シートを任意の位置 X（ノズル出口からの噴出方向の距離）、Y（噴流の中心軸 $Y=0$ から上方向への距離）に照射し、CCD TV カメラと 35mm カメラにより撮影した。本実験においては、 $P_1 = 5 \sim 50 \text{ MPa}$ 、レイノルズ数 $R_0 = U_1 d / \nu = (1.1 \sim 3.5) \times 10^6$ 、 $X = 0 \sim 700 \text{ mm}$ 、 $Y = 0 \sim 12 \text{ mm}$ で可視化を行った。ここで U_1, ν は噴出速度と水の動粘度である。

Fig.1 Test nozzle

Fig.2 Schematic diagram of the illumination system

Fig.3 Aspects of the water-jets observed by holographies

3. 実験結果

3・1 ホログラフィ法による噴流の可視化 図 3 は、 $P_1 = 5, 50 \text{ MPa}$ において種々の距離 X における噴流外部構造を示すホログラフィ写真の一例である。 P_1 に依らずノズル近傍では、噴流は連続的構造を有し、そのまわりに微細な液滴が存在している。しかし、 $X = 200 \text{ mm}$ 近傍では、周囲の空気を取り込んで噴流構造は大規模に変化する。

3・2 レーザシート法による噴流の可視化 図 4 には $P_1 = 5, 50 \text{ MPa}$ 、 $X = 20, 200, 300$ および 500 mm ($Y = 0$) における噴流の平行および垂直断面の可視化写真を示す。 $X = 20 \text{ mm}$ においては、噴流の垂直断面はほぼ円形であり、平行断面より、連続的な構造を認め

Fig.4 Internal structures of high-speed water-jets visualized by laser light sheets ($Y = 0 \text{ mm}$)

る。しかし, $X = 200\text{mm}$ になると, 噴流の連続的な構造は崩れ, 噴流の中心部は大きな液柱や液塊に分かれ, その周辺に細かい液滴が存在してくる。 $X = 300\text{mm}$ ではこの傾向が強まり, $X = 500\text{mm}$ では, 液柱が小さな液塊に分解し広範囲に飛散している。また, 垂直断面をみると, $X = 200\text{mm}$ 付近では噴流の中心軸付近の液柱や液塊が半径方向に数個に分離する事実を認める。通常, $X = 200\text{mm}$ の距離は壊食曲線で第一ピーク付近に相当することから, この事実は固体材料が花びら状⁽³⁾に壊食されることを明示しているとも考えられる。

図5には, $P_1 = 50\text{MPa}$ の $X = 20\text{mm}$ および 200mm 近傍において, 種々の距離の写真を示す。シートを Y 方向に平行移動してみると, 噴流構造の3次元的存在あるいは不安定な挙動がみてとれる。

Fig.5 Internal structure of high-speed water-jets with respect to the distance Y ($P_1 = 50\text{MPa}$)

4. 結 言

加工, 洗浄および液体の微粒化に際し, それぞれ最適な高速噴流用ノズルの提示を可能とするため, まず最も基本的で重要と言える高速水噴流の内部構造を, レーザライトシート法により可視化した。その結果, 噴流が連続的な構造を失い, 大きな液柱, 液塊そして複雑な液滴へと分解していく, 噴流の複雑な内部構造を明示し得た。

文 献

- (1) Shavlovsky, D.S.: Proc. 1st Int. Symp. Jet Cutting Tech., (1972), Paper A6.
- (2) 小林 : ターボ機械, 17-11(1989), 674.
- (3) 相原 : ターボ機械, 17-11(1989), 681.
- (4) Brown, G.M. and Kent, J.C.: Proc. 3rd Int. Symp. Flow Visualization, (1983), 118.
- (5) 中山 : 可視化情報, 10-38(1990), 147.
- (6) Yokota, M., et al.: Proc. 9th Int. Symp. Jet Cutting Tech., (1988), 13.